



upcomillas *es*

upcomillas *es*

## Fundamentos Físicos de las Comunicaciones

### TEMA 9

## INDUCCIÓN

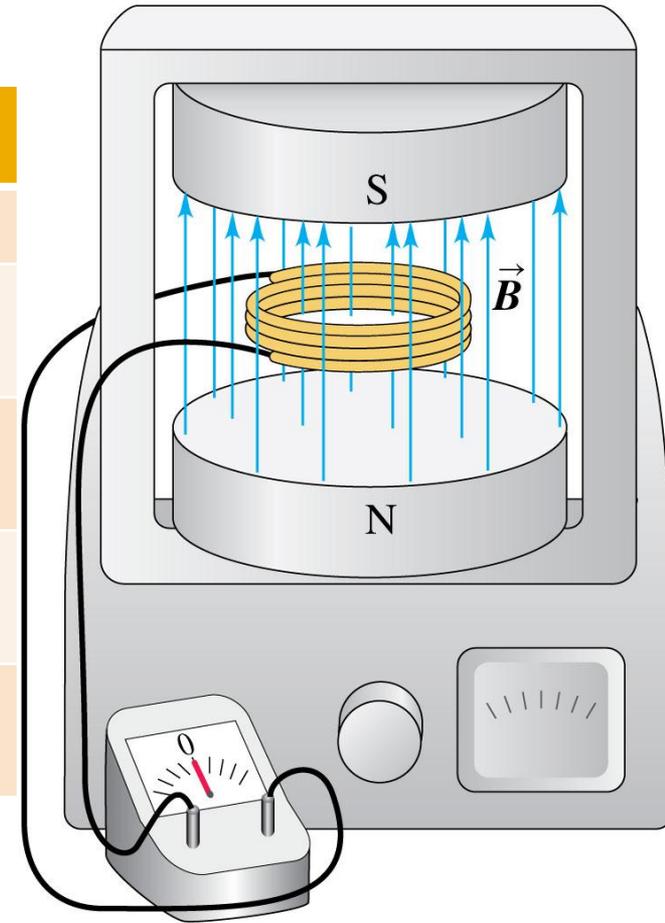
Francisco Fernández

*“The greatest enemy of knowledge is not ignorance, it is the illusion of knowledge.”*

*S. Hawking*

# 1 Experimentos de Inducción

Descripción	Galvanómetro
Valor del campo magnético constante	Cero
Si reducimos la sección transversal de la bobina	No cero
Si ampliamos la sección transversal de la bobina	No cero
Se reduce la magnitud del campo magnético	No cero
Se amplia la magnitud del campo magnético	No cero



# 1 Experimentos de Inducción

---

# 1 Experimentos de Inducción

## PREGUNTA

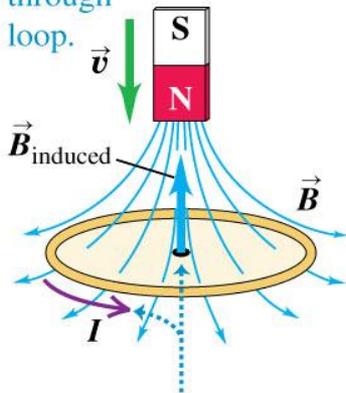
¿QUE TIENEN EN COMÚN LOS HECHOS DESCRITOS EN LA ANTERIOR TRANSPARECIA?

# 2 Ley de Faraday

**Ley de Faraday:** La fem inducida en una espira cerrada es igual al negativo de la tasa de cambio del flujo magnético a través de la espira con respecto al tiempo

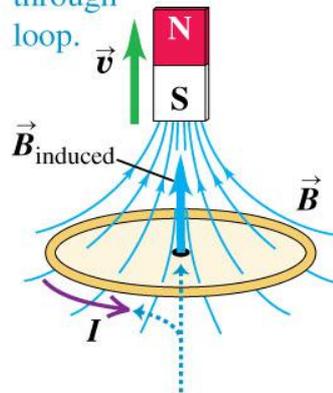
$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

(a) Motion of magnet causes increasing downward flux through loop.

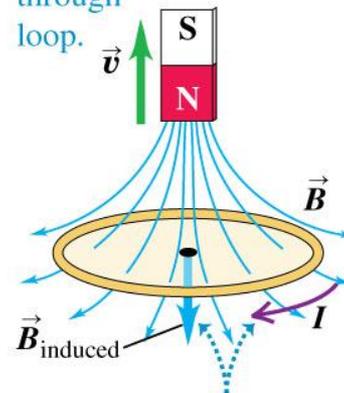


The induced magnetic field is *upward* to oppose the flux change. To produce this induced field, the induced current must be *counterclockwise* as seen from above the loop.

(b) Motion of magnet causes decreasing upward flux through loop.

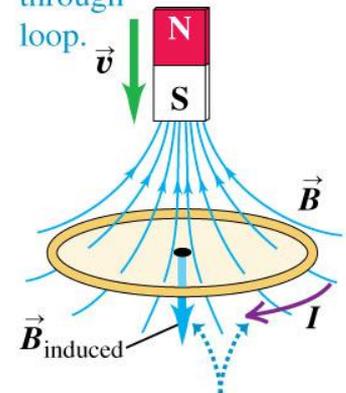


(c) Motion of magnet causes decreasing downward flux through loop.



The induced magnetic field is *downward* to oppose the flux change. To produce this induced field, the induced current must be *clockwise* as seen from above the loop.

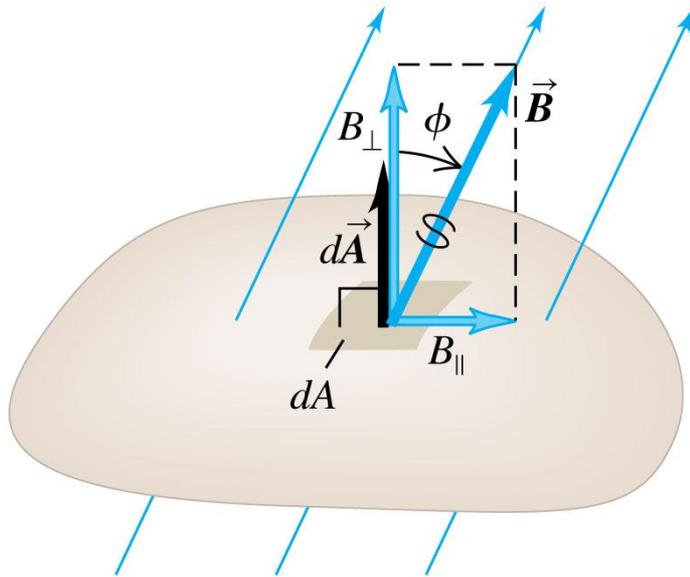
(d) Motion of magnet causes increasing upward flux through loop.



# 1 Experimentos de Inducción

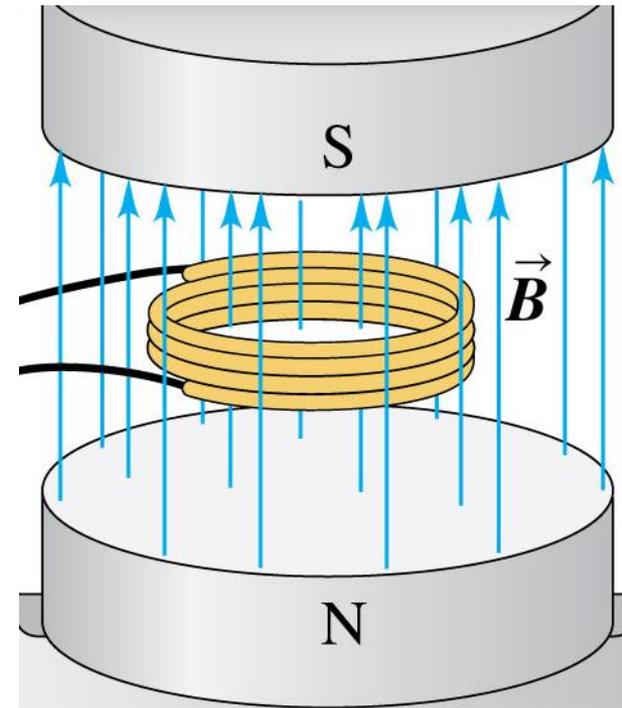
---

# 2 Ley de Faraday



$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\Phi_B = B \cdot A = T \cdot m^2 = \frac{N \cdot m}{A} = \text{Weber}$$



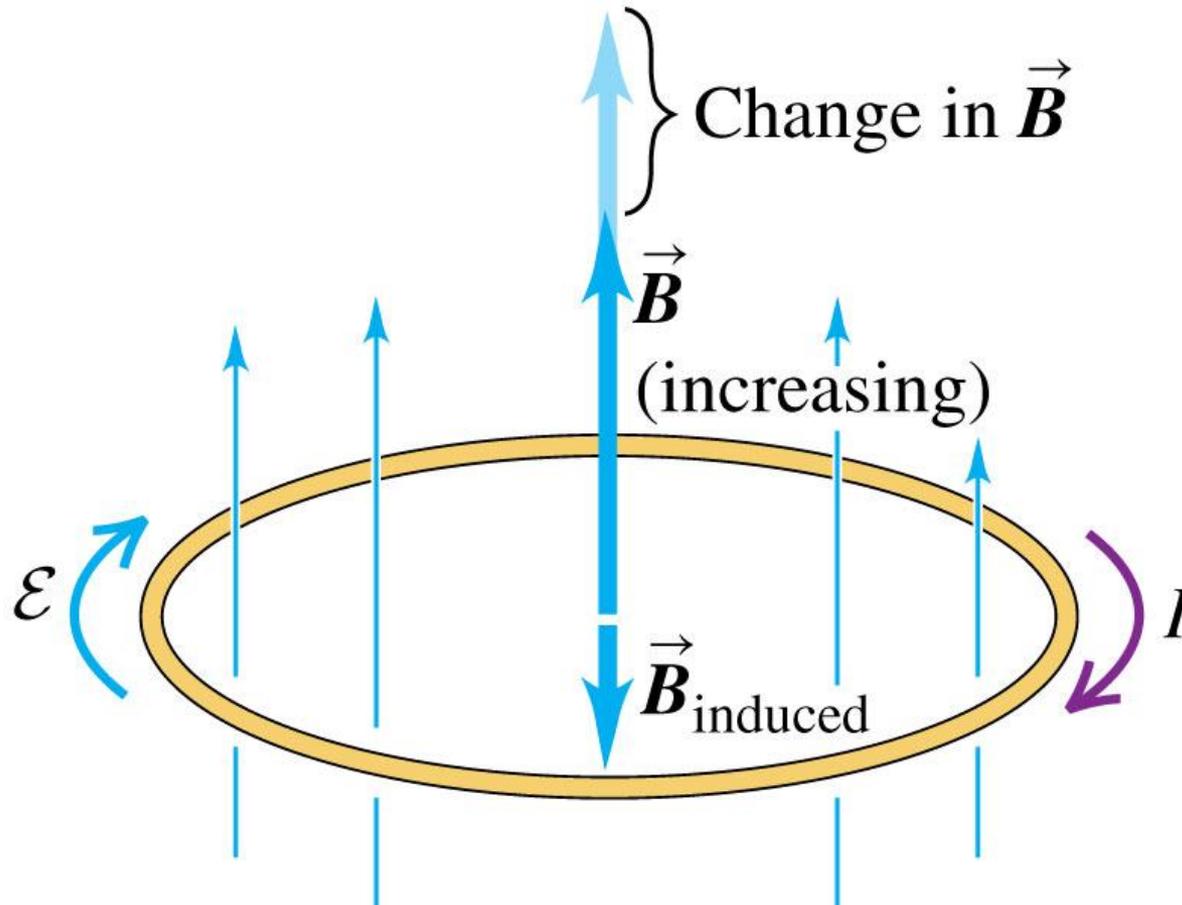
$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

# 2 Ley de Faraday

---

# 3 Ley de Lenz

**Ley de Lenz:** La dirección de cualquier efecto de la inducción magnética es la que se opone a la causa del efecto



# 3 Ley de Lenz

---

# 3 Ley de Lenz

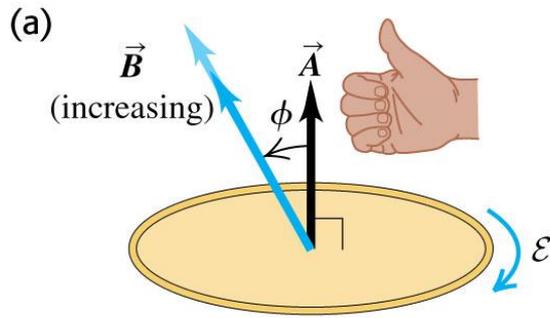
## PREGUNTA

SI LA CORRIENTE INDUCIDA SE OPONE A LA VARIACIÓN DE FLUJO... ¿COMO PUEDE HABER VARIACION DE FLUJO?

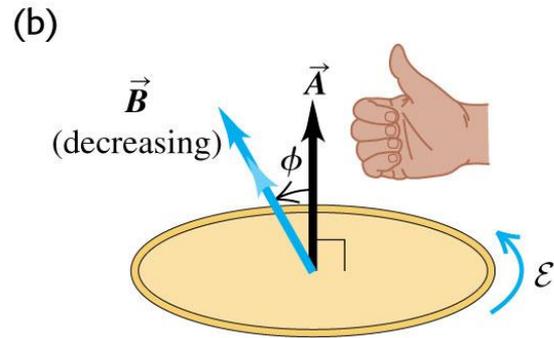
# 3 Ley de Lenz

---

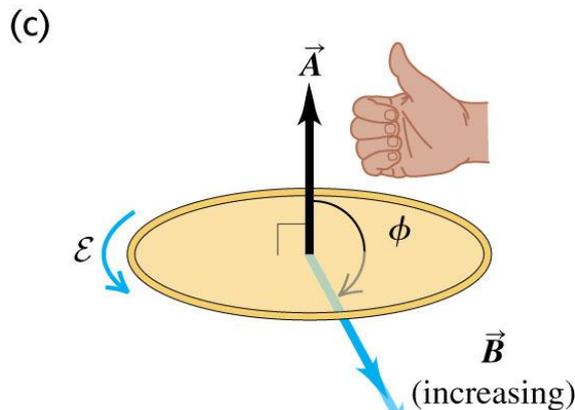
# 3 Ley de Faraday-Lenz



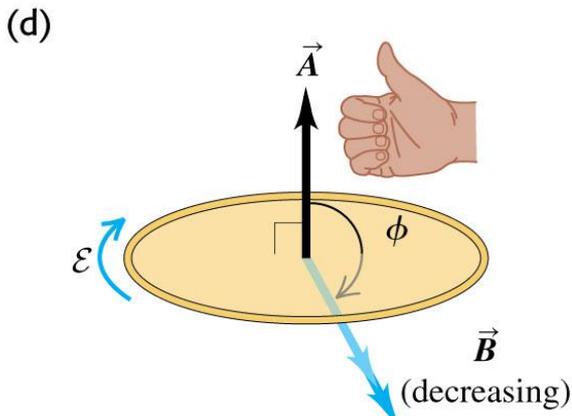
- Flux is positive ( $\Phi_B > 0$ ) ...
- ... and becoming more positive ( $d\Phi_B/dt > 0$ ).
- Induced emf is negative ( $\mathcal{E} < 0$ ).



- Flux is positive ( $\Phi_B > 0$ ) ...
- ... and becoming less positive ( $d\Phi_B/dt < 0$ ).
- Induced emf is positive ( $\mathcal{E} > 0$ ).



- Flux is negative ( $\Phi_B < 0$ ) ...
- ... and becoming more negative ( $d\Phi_B/dt < 0$ ).
- Induced emf is positive ( $\mathcal{E} > 0$ ).



- Flux is negative ( $\Phi_B < 0$ ) ...
- ... and becoming less negative ( $d\Phi_B/dt > 0$ ).
- Induced emf is negative ( $\mathcal{E} < 0$ ).

© 2012 Pearson Education, Inc.

# 3 Ley de Faraday-Lenz

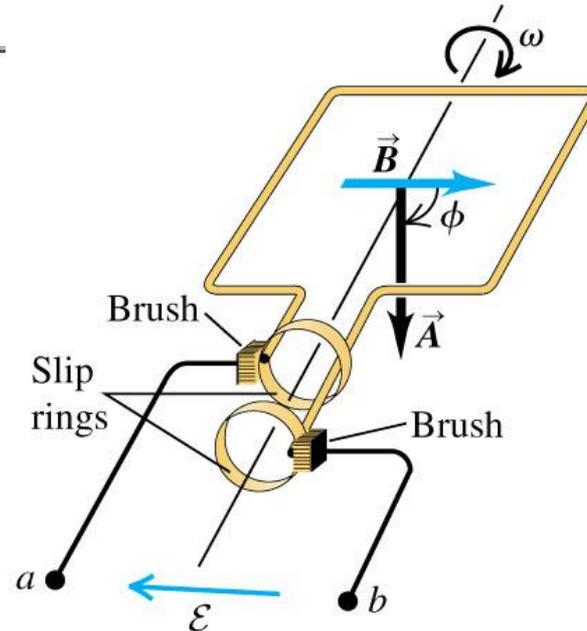
---

# 3 Ley de Faraday-Lenz

## Ejemplo 29.4

## Generador I: Un alternador simple

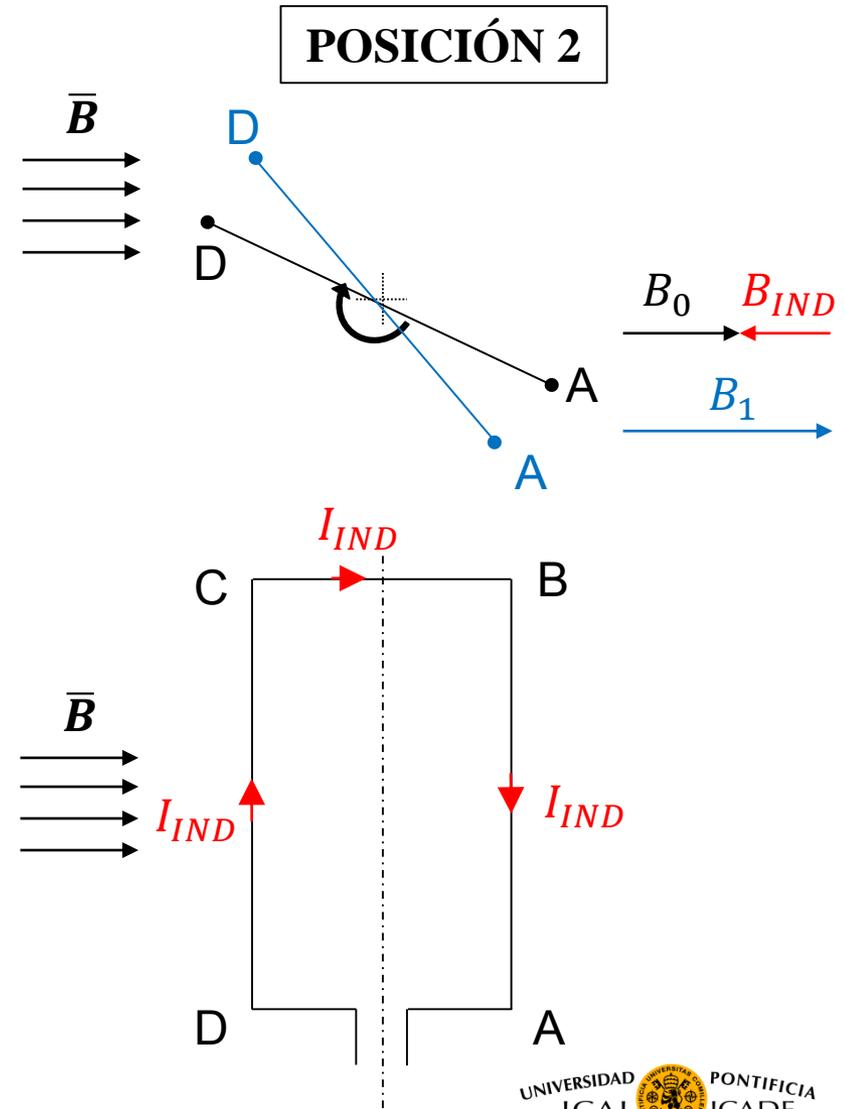
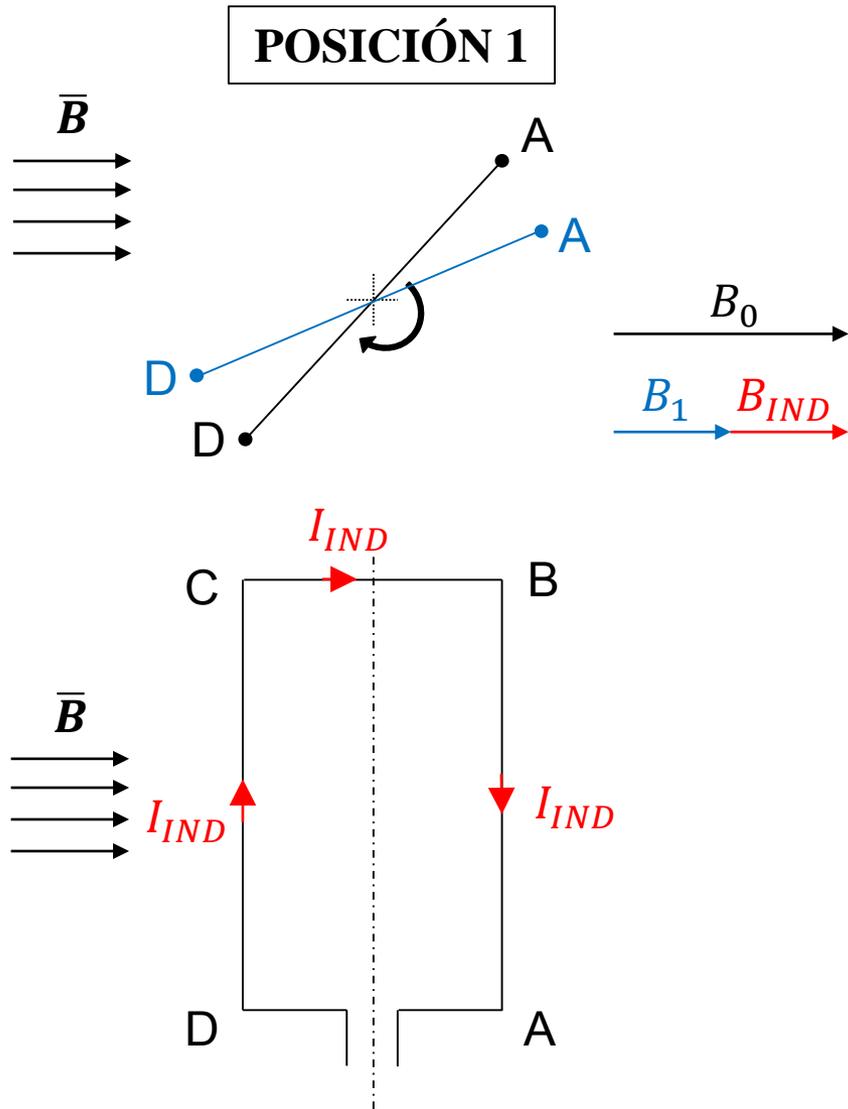
La figura 29.8 muestra una versión sencilla de un *alternador*, un dispositivo que genera una fem. Se hace girar una espira rectangular con rapidez angular constante  $\omega$  alrededor del eje que se indica. El campo magnético  $\vec{B}$  es uniforme y constante. En el momento  $t = 0$ ,  $\phi = 0$ . Determine la fem inducida.



# 3 Ley de Faraday-Lenz

---

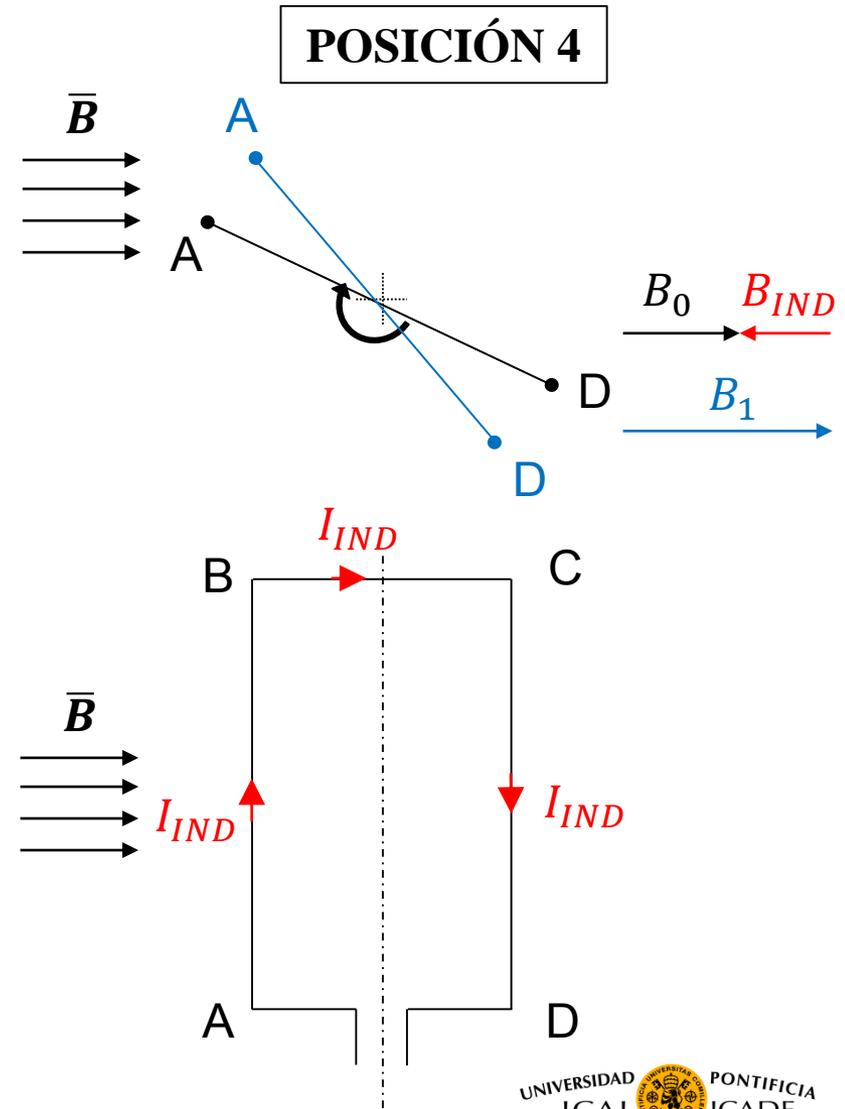
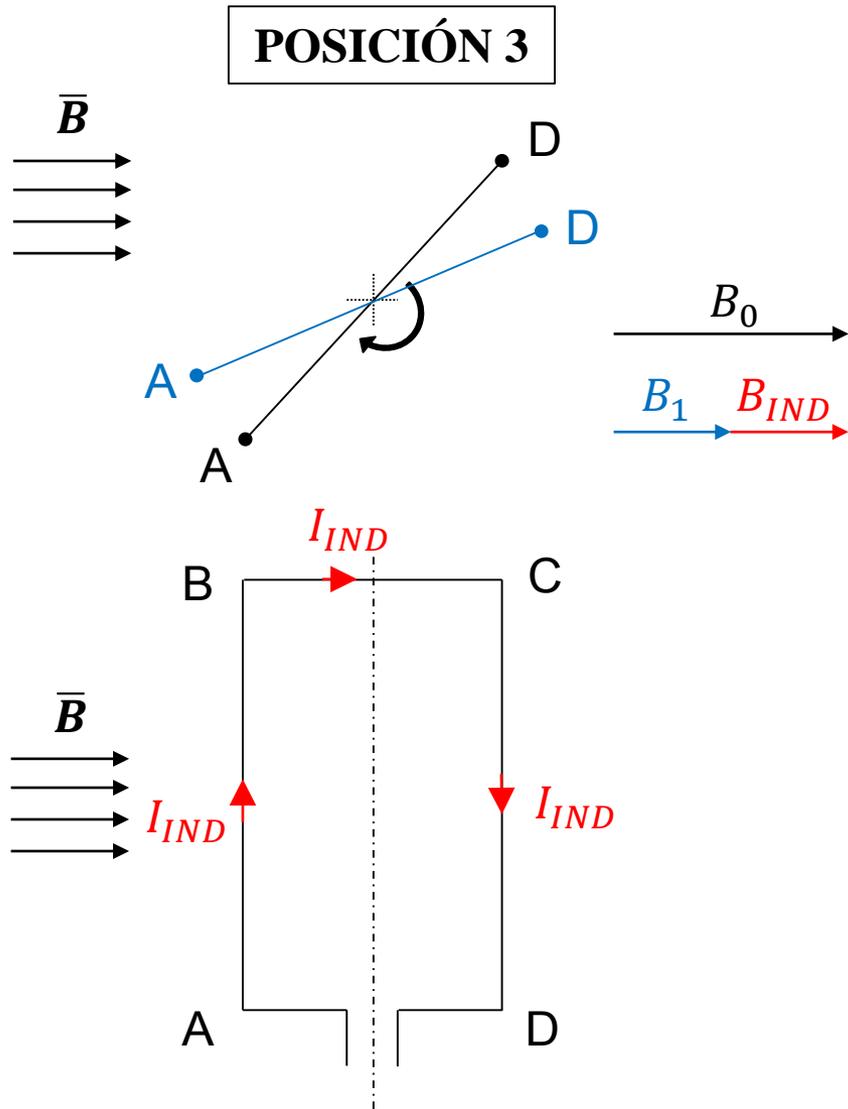
# 3 Ley de Faraday-Lenz



# 3 Ley de Faraday-Lenz

---

# 3 Ley de Faraday-Lenz

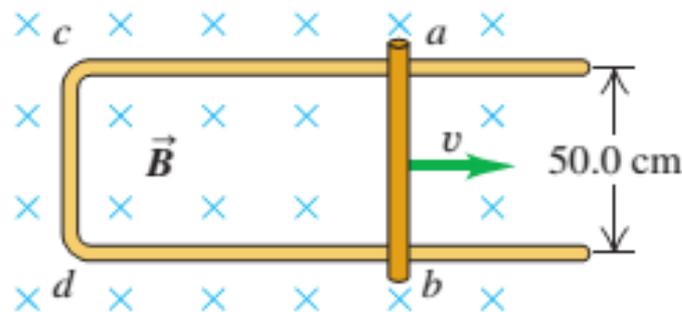


# 3 Ley de Faraday-Lenz

---

# 3 Ley de Faraday-Lenz

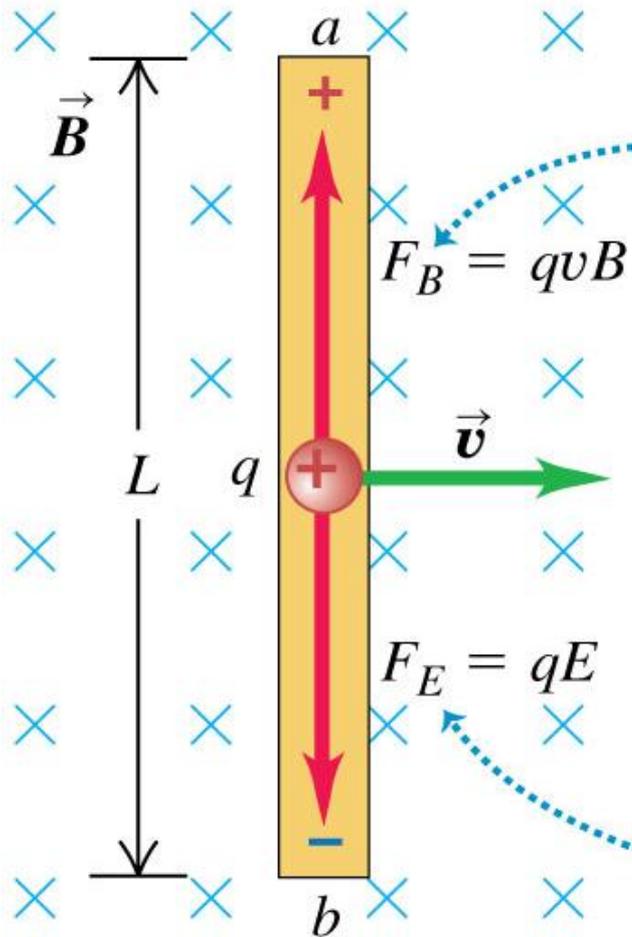
**EJERCICIO 29.27** La varilla conductora  $ab$  que se muestra en la figura 29.38 hace contacto con los rieles metálicos  $ca$  y  $db$ . El aparato está en un campo magnético uniforme de  $0.800\text{ T}$ , perpendicular al plano de la figura. *a)* Calcule la magnitud de la fem inducida en la varilla cuando ésta se mueve hacia la derecha con una rapidez de  $7.50\text{ m/s}$ . *b)* ¿En qué sentido fluye la corriente en la varilla? *c)* Si la resistencia del circuito  $abcd$  es de  $1.50\ \Omega$  (que se supone constante), calcule la fuerza (magnitud y dirección) requerida para mantener la varilla moviéndose hacia la derecha con rapidez constante de  $7.50\text{ m/s}$ . Ignore la fricción. *d)* Compare la tasa con que la fuerza ( $Fv$ ) efectúa trabajo mecánico con la tasa a que se desarrolla energía térmica en el circuito ( $I^2R$ ).



# 3 Ley de Faraday-Lenz

---

# 4 Fuerza Electromotriz de Movimiento



$$\overline{F_B} = \overline{F_E}$$

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$

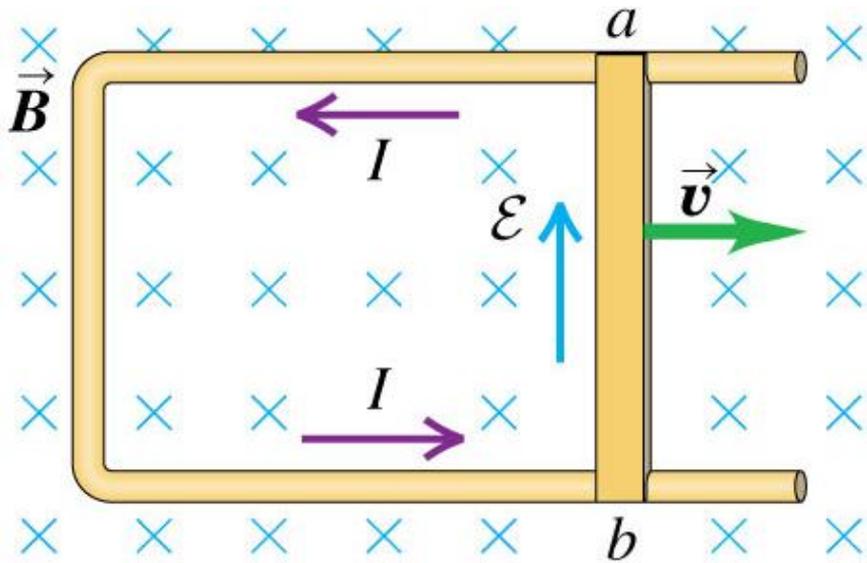
$$V_a - V_b = \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$V_a - V_b = \int (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$

# 4 Fuerza Electromotriz de Movimiento

---

# 4 Fuerza Electromotriz de Movimiento



$$\mathcal{E} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$

# 4 Fuerza Electromotriz de Movimiento

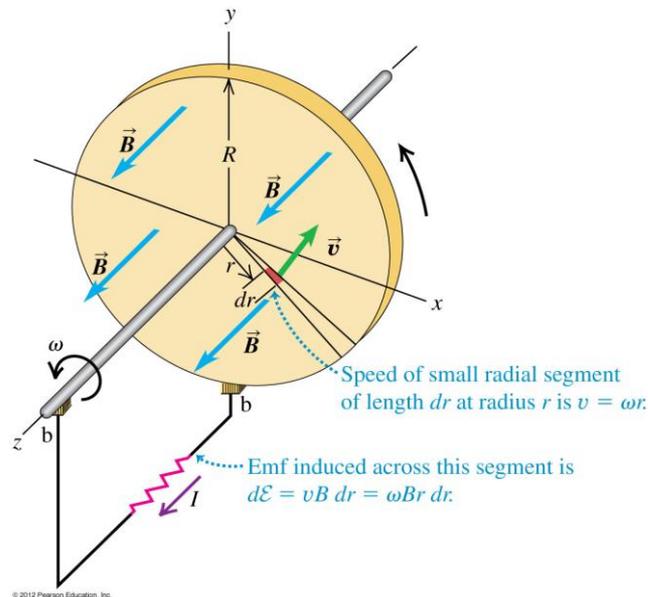
---

# 4 Fuerza Electromotriz de Movimiento

## Ejemplo 29.11

## La dinamo de disco de Faraday

Un disco conductor con radio  $R$  (figura 29.16) está en el plano  $xy$  y gira con velocidad angular constante  $\omega$  alrededor del eje  $z$ . El disco está en un campo  $\vec{B}$  constante, uniforme, paralelo al eje  $z$ . Calcule la fem inducida entre el centro y el borde del disco.

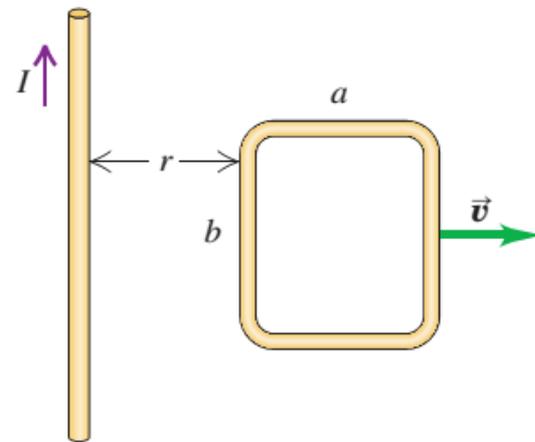


# 4 Fuerza Electromotriz de Movimiento

---

# 4 Fuerza Electromotriz de Movimiento

## EJERCICIO 29.53

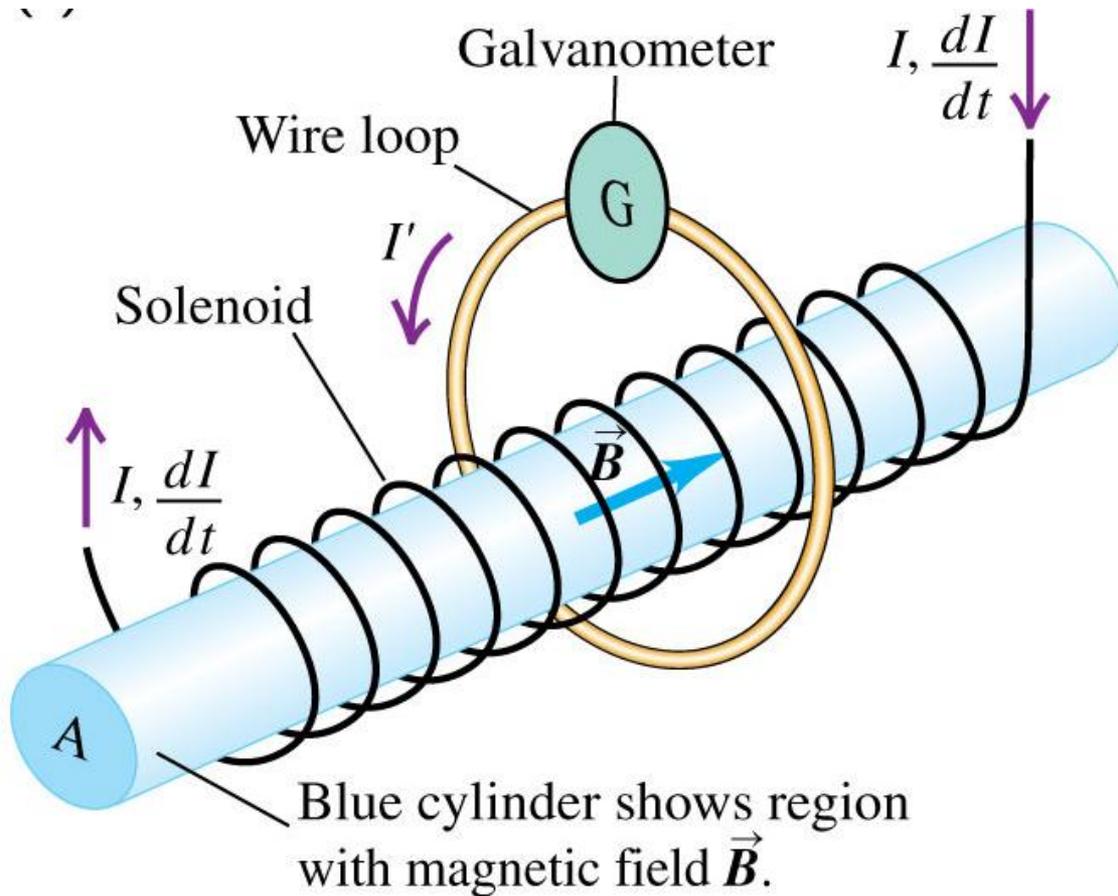


En la figura 29.44, se tira de la espira hacia la derecha a velocidad constante,  $v$ . Una corriente constante  $I$  fluye en el alambre largo, en el sentido que se indica. *a)* Calcule la magnitud de la fem neta  $\mathcal{E}$  inducida en la espira. Haga esto de dos modos: i) con base en la ley de Faraday de la inducción (*Sugerencia:* véase el problema 29.7) y ii) examinando la fem inducida en cada segmento de la espira debido al movimiento de ésta. *b)* Encuentre el sentido (horario o anti-horario) de la corriente inducida en la espira. Haga esto de dos maneras: i) con base en la ley de Lenz y ii) a partir de la fuerza magnética sobre las cargas en la espira. *c)* Compruebe su respuesta para la fem del inciso *a)* en los siguientes casos especiales para ver si es físicamente razonable: i) La espira está fija; ii) la espira es muy delgada, de manera que  $a \rightarrow 0$ ; iii) la espira está muy lejos del alambre.

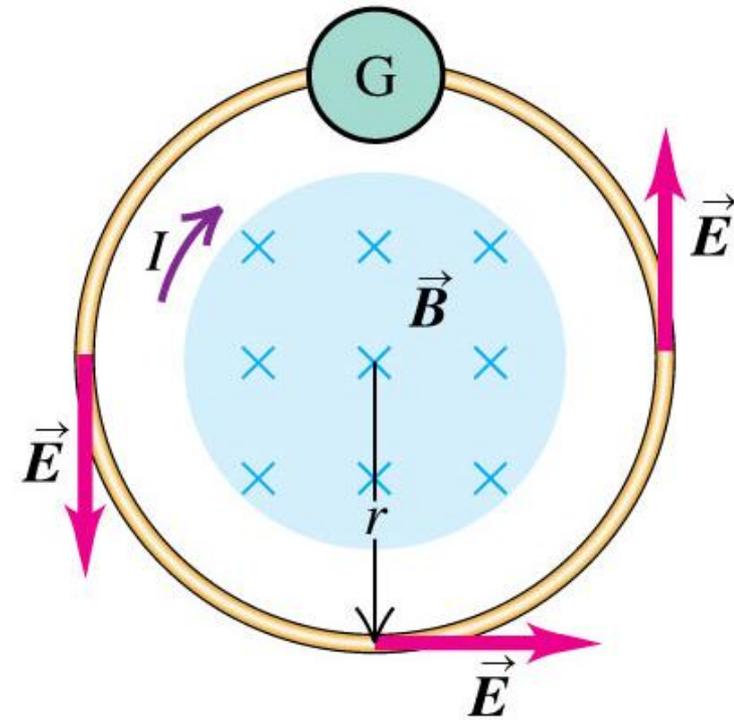
# 4 Fuerza Electromotriz de Movimiento

---

# 5 Campos Eléctricos Inducidos



$$\varepsilon = \oint \overline{E_{ne}} \cdot d\vec{l}$$



# 5 Campos Eléctricos Inducidos

---

# 5 Campos Eléctricos Inducidos

$$\varepsilon = \oint \overline{E}_{ne} \cdot d\vec{l}$$

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint \overline{E}_{ne} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

# 5 Campos Eléctricos Inducidos

---

# 5 Campos Eléctricos Inducidos

## EJERCICIO 29.36

Un solenoide largo y delgado tiene 900 espiras por metro y radio de 2.50 cm. La corriente en el solenoide está aumentando a una tasa uniforme de 60.0 A/s. ¿Cuál es la magnitud del campo eléctrico inducido en un punto cerca del centro del solenoide y *a*) a 0.500 cm del eje del solenoide; *b*) a 1.00 cm del eje del solenoide?

# 5 Campos Eléctricos Inducidos

---